

К.Кусаинов, К.М.Шаймерденова, Б.Б.Кутум, Г.А.Булкаирова, Г.Ранова, В.Киврин

*Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова  
(E-mail: kutykadam@mail.ru)*

## **Воздействие электрических разрядов на структуру и свойства электродной системы при гидроимпульсной обработке воды**

Статья посвящена изучению воздействия электрических разрядов на структуру и свойства электродной системы при гидроимпульсной обработке воды. Проведены экспериментальные исследования по выявлению недостатков и преимуществ материала кабель-электродов. В результате эксперимента выявлены длины разрушений центральной жилы электродов в зависимости от времени гидроимпульсной обработки. Установлено, что наиболее эффективной является центральная жила электрода, изготовленная из меди.

*Ключевые слова:* электродная система, гидроимпульсная обработка, электрический разряд, вода, кабель-электрод.

Источники водоснабжения подвергаются загрязнению вследствие интенсивного развития промышленности и инфраструктуры, их качество во многих регионах нельзя признать удовлетворительным. В настоящее время существуют различные методы очистки воды — реагентный, ионного обмена, электродиализа, обратного осмоса, электролиза, адсорбционный. Однако каждый метод имеет свои преимущества и недостатки.

Известны научные разработки с использованием подводного электрического разряда, названного электрогидравлическим эффектом, в области металлургии (очистка литья), горнодобывающей отрасли (разрушение и бурение горных пород), энергетики (очистка труб и интенсификация теплообмена), сельского хозяйства (обработка семян), медицины (разрушение камней в почках) и т.д. [1].

Предлагаемая установка не только будет очищать воду от различных микроорганизмов, микробов, но и активировать ее, способствуя изменению структуры с положительным эффектом для жизнедеятельности растений и живых организмов. Основой разработанной гидроимпульсной обработки является электрогидравлический эффект Юткина [1–3].

Внедрение данной технологии и широкое ее использование на практике затруднены некоторыми нежелательными эффектами и последствиями. Процессы, происходящие на поверхностях электродов, подверженных эрозии и воздействию мощных подводных искровых разрядов, требуют дополнительного исследования. При гидроимпульсной обработке воды происходит также износ кабеля электрода положительной полярности, он является расходным материалом. На поверхностях как положительного, так и отрицательного металлических электродов появляются расплавленные участки, влияние которых на прочность системы электродов полностью не изучено. В связи с этим целью исследования являлось экспериментальное изучение степени и скорости изнашивания электродов в зависимости от энергетических параметров и количества электрогидравлических импульсов.

Основным рассматриваемым вопросом в разработке эффективности гидроимпульсного метода обработки является вопрос увеличения стойкости передней части изоляции и электродов. При обработке воды рабочий электрод подвергается разрушению. Это связано с тем, что часть стримеров, развивающихся после обработки воды, оказывает термохимическое и механическое воздействие на изоляцию передней части рабочего электрода. В результате вначале происходит обжигание и оплавление участка изоляции по пути следования стримеров, т.е. оказывается слабое термическое воздействие на изоляцию электрода, но при последующих разрядах происходит еще более углубленное оплавление участка изоляции, вплоть до обугливания [4].

При достаточно углубленном разрушении изоляции электрода вступают в силу механические факторы воздействия. Одним из таких факторов является влияние гидравлических ударов на изоляцию передней части электрода. Данные удары, воздействуя на обугленный участок изоляции электрода, приводят к механическому разрыву, т.е. распариванию, что в итоге приводит к появлению еще более углубленных участков прожига изоляции.

Вследствие разрушения слоя изоляции нарушается процесс получения сверхдлинных разрядов в воде, увеличиваются потери энергии, что, в свою очередь, приводит к энергоемкой работе электрогидравлических устройств.

В эксперименте использовано 3 вида кабеля-электрода, в каждом из которых центральная жила изготовлена из различных материалов — меди, алюминия и стали. Для выбора материала, из которого изготовлена центральная жила электрода, мы придерживались следующих критериев: малая индуктивность; прочная изоляция, способная выдержать высокие рабочие напряжения; срок службы, значительно превышающий срок службы остальных элементов электрогидравлической установки.

Конкретно в ходе эксперимента был включен в схему основной используемый в промышленности и в лабораториях радиочастотный коаксиальный кабель-электрод с медной центральной жилой. В качестве стальной жилы в эксперименте использовалась низкоуглеродистая стальная термически обработанная пружинистая проволока. На ней прочная полиэтиленовая изоляция, которая, по оценкам, должна обезопасить проведение опытов. В качестве образца алюминиевой жилы использован алюминиевый провод. Изоляция, которая присутствует на данном проводе, а именно поливинилхлоридная изоляция, недостаточна для безопасной работы, и поэтому в качестве дополнительной изоляции использован гидравлический шланг марки HW-1SN-08.

В качестве первого исследуемого образца был рассмотрен и изучен кабель-электрод, имеющий медную жилу. Данный кабель-электрод является распространенным и в основном применяется в лабораторных опытах, а также в промышленности.

Изначально медный коаксиальный кабель-электрод, диаметр центральной жилы которого составляет 1,6 мм, был подготовлен к обработке, а именно была убрана часть внешней изоляции и внешней токоотводящей сетки и оголена выступающая часть электрода на 2 мм.

Второй образец, алюминиевый кабель-электрод, также подвергся некоторым корректировкам. Так как изоляция алюминиевого провода не предназначена для нагрузок свыше 1 кВ, была изготовлена дополнительная изоляция, и в качестве материала использован гидравлический шланг с внутренним диаметром 8 мм. Данная конструкция позволит обеспечить безопасное гидроимпульсное воздействие в воде.

В качестве третьего образца использовался стальной кабель-электрод, в котором центральная жила изготовлена из стальной каленой проволоки, диаметр составляет 3 мм, в качестве изоляции применяется винипласт.

При проведении экспериментальных опытов данные кабель-электроды поочередно устанавливались к электрогидравлическому стенду.

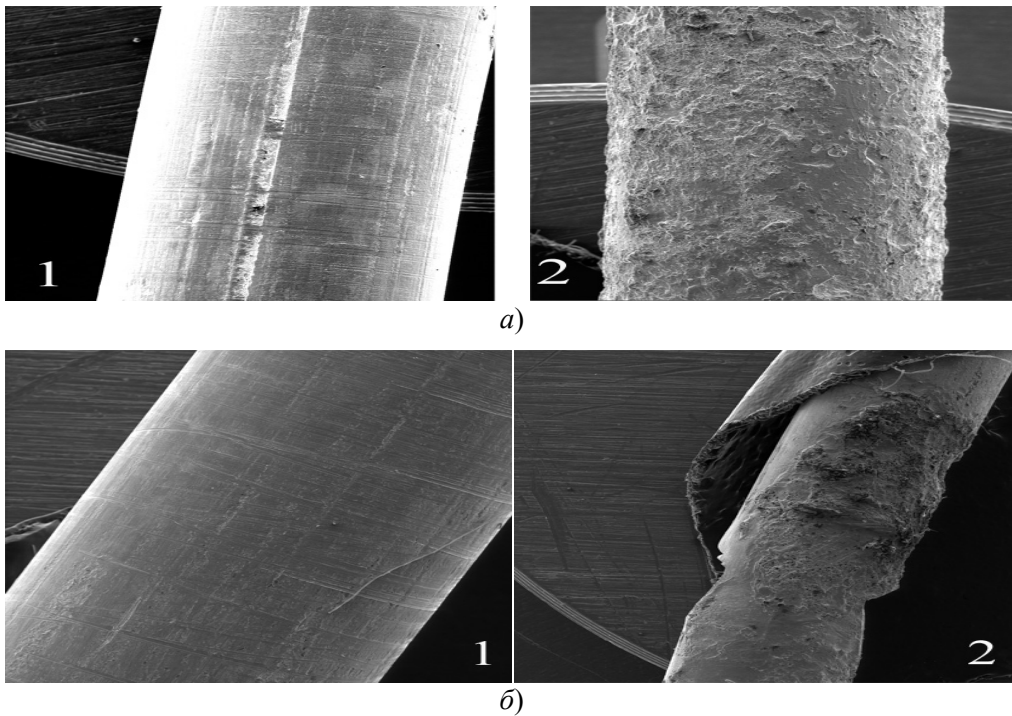
После проведения гидроимпульсной обработки были получены 3 образца кабель-электродов, которые, в свою очередь, были разделены по временным рамкам действия обработки. С целью более тщательного рассмотрения процессов разрушения центральной жилы электродов был проведен микроскопический анализ образцов при помощи растрового электронного микроскопа.

На рисунке 1а, б показаны снимки медного кабель-электрода до совершения обработки и медного кабеля-электрода, с которым совершили обработку в течение 2 и 4 минут.

Как проводник, медь считается вторым лучшим проводником после серебра, и для использования ее в роли проводника применяют в основном бескислородную медь, так как она меньше подвергается эрозии.

Сравнивая снимки еще не использованного электрода и уже совершившего двухминутную гидроимпульсную обработку, можно сказать, что с кабелем прошли незначительные изменения, а именно были достигнуты минимальные конструктивные изменения разрушающего характера. Но даже 2-минутной обработки хватило для того, чтобы на поверхности медного кабель-электрода образовались небольшие ямы и микровпадины. Рассматривая ямы и микровпадины, образовавшиеся на поверхности медной жилы, можно прийти к выводу, что они образовались вследствие влияния прохождения стримеров, а также влияния гидрокавитационных сил, которые возникают вследствие гидроимпульсной обработки и создания в воде высоких и сверхвысоких давлений. Длина разрушенной части медной жилы электрода при 2-минутной обработке составляет 2–3 мм.

Для более тщательного рассмотрения характера разрушения и износа медный кабель-электрод подвергся более длительной нагрузке в течение 4 минут, и с медной жилой электрода произошли более обширные разрушения. На рисунке 1 показаны снимки образцов до и после эксперимента.

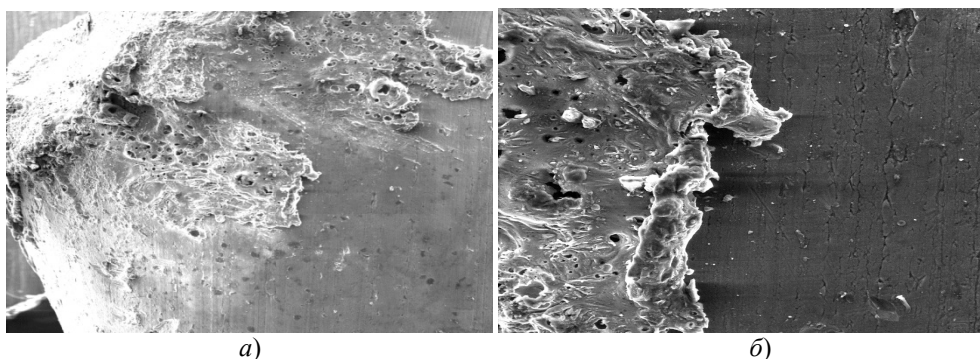


1 — образец до эксперимента; 2 — образец после эксперимента;  
 а — при 2-минутной обработке; б — при 4-минутной обработке

Рисунок 1. Снимки образцов медного кабель-электрода до и после эксперимента

На снимке (рис. 1б) видно, что более широкие масштабы разрушения медного кабеля-электрода произошли после 4 минут гидроимпульсной обработки. Уже имеется полная картина того, как происходит процесс разрушения рабочей жилы электрода. Так же как и с первым образцом медного кабель-электрода, со вторым происходят схожие процессы разрушения, но, так как второй образец подвергся более длительной нагрузке, на нем отразились дальнейшие последствия влияния прохождения стримеров и влияния гидрокавитационных сил. На снимке можно наблюдать отслаивание медной части электрода и имеющиеся более глубокие впадины. При этом длина разрушенной части центральной жилы электрода при гидроимпульсной обработке в течение 4 минут составляет 6–8 мм.

При проведении эксперимента с использованием алюминиевого кабель-электрода, подвергнутого 2- и 4-минутной обработке визуально было замечено, что эффективность обработки намного ниже, чем при использовании медного кабеля-электрода.



а — при 2-минутной обработке; б — при 4-минутной обработке

Рисунок 2. Снимок образца алюминиевого кабель-электрода

На рисунке 2а показан образец переднего конца жилы алюминиевого кабель-электрода после 2-минутной обработки: часть металла была подвергнута плавлению вследствие высоковольтной на-

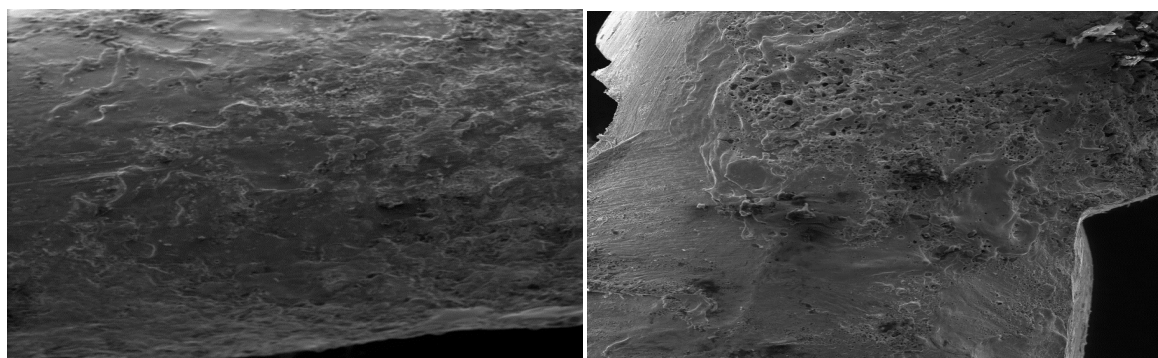
грузки, влиянию процессов эрозии, так как диаметр жилы электрода намного больше других образцов и составляет около 6,4 мм, а также кабель подвергся влиянию гидрокавитационных сил, которые возникли в результате высоких и сверхвысоких давлений. Длина разрушенной части кабель-электрода при 2-минутной обработке составила около 8 мм.

При 4-минутной обработке алюминиевый кабель-электрод был подвергнут еще большему разрушению — длина разрушенной части центральной жилы кабель-электрода составила около 17–20 мм, что является весьма большим показателем.

На рисунке 2б показан снимок образца алюминиевого кабель-электрода после 4 минут гидроимпульсной обработки в воде. На снимке отображена часть жилы электрода, на которой имеется граница между полностью разрушенной частью и частью, которая была не задействована в разрушении. Судя по данному снимку, становится ясно, что передняя часть жилы разрушается очень быстро под действием тех же самых сил, что описаны при 2-минутной обработке.

Рабочему кабелю-электроду, центральная жила которого выполнена из стали, во время проведения эксперимента по обработке в воде затребовалось больше энергии — это связано с тем, что электропроводимость стали в 6–7 раз меньше электропроводимости меди.

Снимок образца стального кабель-электрода, прошедшего 2-минутную обработку в воде, дан на рисунке 3а. Показаны процесс износа стальной жилы кабель-электрода, процессы влияния образования и прохождения стримеров по передней части жилы электрода, а также влияния процессов эрозии и гидрокавитационных сил. На снимке видны образовавшиеся микровпадины, т.е., несмотря на высокую стойкость данного металла при высоковольтных разрядах в воде, сталь не выдерживает данную нагрузку даже на время 2-минутной обработки. Длина разрушенной части кабель-электрода при 2-минутной обработке составила 4 мм.



а) — при 2-минутной обработке; б) — при 4-минутной обработке

Рисунок 3. Снимок образца стального кабель-электрода

При 4-минутной обработке с использованием стального кабеля-электрода происходят процессы, совпадающие с процессами разрушения медного кабеля-электрода. На рисунке 3б показан снимок образца стального кабеля-электрода, с использованием которого была совершена 4-минутная обработка. Так же как и медный кабель-электрод, данный образец был подвержен значительным разрушениям. На снимке отчетливо видны микровпадины, а также участки, где произошел процесс разрушения центральной жилы кабель-электрода. Причиной разрушения участка жилы кабель-электрода является влияние прохождения стримеров по рабочему концу кабеля-электрода, а также влияние гидрокавитационных сил.

Таким образом, эффективность обработки при использовании стального кабель-электрода ниже, чем при использовании медного. Длина зоны очищенной трубы с использованием стального кабель-электрода при 4-минутной обработке составляет 45 мм. Длина же разрушенной части кабель-электрода при том же временном промежутке обработки составила 14 мм.

На основе полученных снимков можно сделать вывод о том, что центральная жила подвергается серьезным разрушениям. Причины тому — влияние прохождения стримеров по переднему концу электрода, а также сложное термохимическое и механическое воздействия на кабель-электрод. Также наблюдается эффект кавитации на поверхности жил электродов — образование кавитационных пу-

зырьков, которые в силу своей химической агрессивности и достаточно высокой температуры вызывают эрозию поверхности жил электродов.

После проведения исследования образцов центральной жилы кабель-электрода был составлен график зависимости длины разрушения центральной жилы электрода от времени гидроимпульсной обработки, который наглядно показал, какие именно образцы кабель-электродов подвергаются наибольшим масштабам износа и разрушения. Данный график показан на рисунке 4.

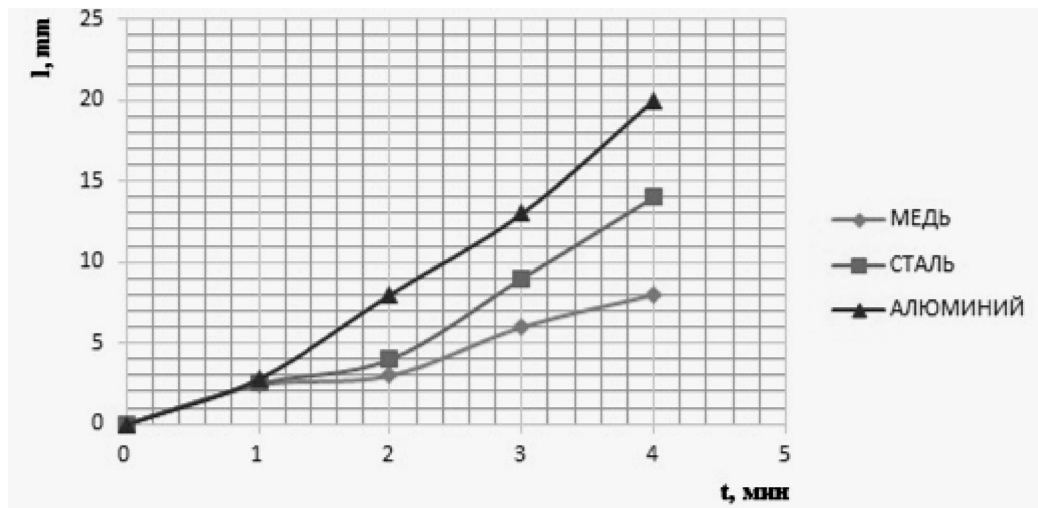


Рисунок 4. Зависимость длины разрушения центральной жилы электрода от времени обработки

Из графика видно, что наибольшее разрушение центральной жилы приходится на алюминиевый кабель-электрод, а наименьшее — на медный. Данные показатели свидетельствуют о том, что медный кабель-электрод намного эффективней и надежней в работе электрогидравлической установки, чем образцы кабель-электродов, выполненных из других материалов.

Такие же данные были получены и при исследовании образцов изоляции. Замечено, что при 2-минутной обработке поверхность изоляции подверглась износу и частичному плавлению. При 4-минутной обработке происходит уже полное оплавление участка, и это приводит к образованию впадин и более глубоких трещин на поверхности изоляции. Также, в свою очередь, была определена длина разрушенной и оплавленной части изоляции: винипласта при 2-минутной обработке — 7 мм, фторопласта при 2-минутной обработке — 9 мм, при 4-минутном пробое — 22 мм; марки HW-1SN-08 при 2-минутной обработке — 7 мм, при 4-минутной — 20 мм. Процесс разрушения изоляции кабель-электрода наибольших масштабов приходится на фторопласт, наименьшее же разрушение приходится на винипласт. Можно сделать вывод, что винипласт является наиболее оптимальным образцом изоляции кабель-электрода для проведения эффективной и надежной гидроимпульсной обработки воды.

При подведении итогов исследований трех образцов кабель-электродов было выявлено, что наиболее эффективным, надежным и оптимальным кабель-электродом будет электрод с медной центральной жилой, так как использование меди в качестве жилы электрода привело к неплохим результатам воздействия за короткий промежуток времени, а также к меньшему разрушению. А среди образцов изоляции самым надежным и эффективным образцом себя показал винипласт. Данный образец изоляции подвергся разрушению, но наименьшему среди остальных образцов. Поэтому медный кабель-электрод с усовершенствованной изоляцией в виде винипласта будет являться эффективной электродной системой при гидроимпульсной обработке воды.

#### Список литературы

- 1 Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. — Л.: Машиностроение, 1966. — 253 с.
- 2 Спиров В.Г. Устройство электрогидравлического воздействия на жидкие среды. № 2009117948/15 от 14.05.2009.

3 Назаров У.С., Мамаджанов Э.У. Электрогидравлический способ и устройство обессоливания и активации высокоминерализованной воды. № 2006 0338 от 14.09.2006.

4 Русов В.А. Измерение частичных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования. — Екатеринбург: Изд. УрГУПС, 2011. — 368 с.

5 Кусаиынов К., Нусупбеков Б.Р. Разрушение материалов подводным электрическим взрывом. — Караганда: Издатсервис, 2010. — 250 с.

Қ.Құсайынов, К.М.Шаймерденова, Б.Б.Құтым, Г.А.Бұлқайырова, Г.Ранова, В.Киврин

### **Суды гидроимпульстік өңдеу кезінде электродтық жүйенің құрылымы мен қасиеттеріне электр разрядтарының әсері**

Мақала суды гидроимпульстік өңдеу кезінде электродтық жүйенің құрылымы мен қасиеттеріне электр разрядтарының әсерін зерттеуге арналған. Кабель-электродтарының кемшіліктері мен артықшылықтарын анықтау бойынша эксперименттік зерттеулер өткізілді. Эксперименттің нәтижесінде гидроимпульстік өңдеу уақытына тәуелді электродтардың орталық тарамы бұзылуының ұзындықтары анықталды. Электрод ішінен тиімді деп мыстан жасалатын орталық тарам табылды.

K.Kussaiynov, K.M.Shaimerdenova, B.B.Kutum, G.A.Bulkairova, G.Ranova, V.Kivrin

### **Exposure of electrical discharges on the structure and properties of the electrode system in the hydropulse water treatment**

The article is devoted to studying the impact of electric discharges on the structure and properties of the electrode system in the hydropulse treatment of water. Experimental studies have been conducted to identify disadvantages and advantages of the material cable electrodes. As a result, lengths of destructions of central tendon of electrodes revealed from time of hydropulse treatment. It was found that most effective is the central tendon of electrode, made from a copper.

#### References

- 1 Yutkin L.A. *Electro-effect and its application in industry*, Leningrad: Mashinostroenie, 1986, 253 p.
- 2 Spirov V.G. *The device is an electro-hydraulic effects on the liquid medium*, № 2009117948/15 on 14.05.2009.
- 3 Nazarov U.S., Mamadzhano E.U. *Electrohydraulic method and apparatus desalting and activation highly mineralized water*, № 2006 0338 on 14.09.2006.
- 4 Rusov V.A. *Measurement of partial discharges in the insulation of high voltage equipment*, Yekaterinburg: UrGUPS Publ., 2011, 368 p.
- 5 Kussaiynov K., Nusupbekov B.R. *Destruction of materials underwater electrical explosion*, Karaganda: Izdatserwise, 2010, 250 p.